

Krzysztof BILLEWICZ

POLITECHNIKA WROCLAWSKA, INSTYTUT ENERGIELEKTRYKI
ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław

Perspektywy rozwoju inteligentnych systemów pomiarowych

Dr inż. Krzysztof BILLEWICZ

Adiunkt w Instytucie Energoelektryki Politechniki Wrocławskiej. We wcześniej pracował 3 lata w Instytucie Automatyki Systemów Energetycznych oraz 6 lat w firmie WINUEL SA Grupa Sygnity. Autor ponad 50 publikacji naukowych oraz monografii pt. Smart Metering. Inteligentny system pomiarowy, wydanej w 2012 roku przez Wydawnictwo Naukowe PWN.



e-mail: Krzysztof.Billewicz@pwr.wroc.pl

Streszczenie

Obecnie można zaobserwować globalny ruch w kierunku inteligentnych sieci. Pomimo tego, że są różne ścieżki osiągnięcia tego samego celu, który jeszcze nie jest precyzyjnie określony, to budowę takiej sieci najczęściej rozpoczyna się od wdrażania inteligentnych systemów pomiarowych. Urządzenia elektroniczne (komputery, telefony komórkowe itp.) w ostatnim czasie uległy bardzo szybkiemu rozwojowi. Autor stawia tezę, że wystąpi podobny rozwój inteligentnych liczników, zatem już teraz trzeba przewidzieć to przygotowując specyfikacje wdrożeniowe dla takich systemów.

Słowa kluczowe: inteligentny licznik, aktualizacja oprogramowania, inteligentny system pomiarowy, rozwój.

Prospects for development of smart metering**Abstract**

You can now see the global movement towards smart grids. Despite the fact that there are different paths to achieve the same purpose which is not yet precisely defined, the construction of such a network usually starts with the implementation of smart metering. Currently, engineers and scientists contribute to the rapid development of electronic devices. The modern electronic devices (computers, cell phones, etc.) have more functions than devices produced a few years ago. In fact, by 2015, 250 million smart meters will be installed worldwide. Millions of electric smart meters in customers' homes cannot be developed in a simple and fast way. This limitation may hinder AMI (Advanced Metering Infrastructure) development. Smart meter will have a remote firmware update feature. The paper presents limitations of this feature. The article describes a problem of interoperability. Interoperability is the ability of diverse systems and devices to work together (inter-operate). The author argues that a rapid development of smart meters will be occur, so distribution network operators must take this into account when preparing specifications for the implementation of such systems.

Keywords: smart meter, update firmware, smart metering, development.

1. Wprowadzenie

Jesteśmy na etapie, gdy globalny ruch w kierunku inteligentnych sieci już się rozpoczął. Zmiana nadchodzi, może nie tyle przez krajowe wytyczne i działania polityczne, jak dzięki ewolucji technologii i dzięki siłom rynkowym [6].

Jednak to, jaka będzie inteligentna sieć przyszłości zależy od rozsądnie przygotowanego wdrożenia, w miarę możliwości przygotowującego tę sieć do dalszej rozbudowy funkcjonalnej. Okazuje się jednak, że możliwość przyszłej rozbudowy jest wcale nie taka oczywista, a wdrożenie w okresie piętnastu lat obecnie dostępnych funkcjonalności, zwłaszcza okrojonych ze względu na oszczędności finansowe zamawiającego, może spowodować piętnastoletnią męczarnię z systemem nie przystającym do zmieniającej się rzeczywistości.

2. Rozwój urządzeń mobilnych

Kilkanaście lat temu pojawiła się telefonia komórkowa. Proste aparaty umożliwiały nawiązywanie połączeń głosowych na obszarze, gdzie dostępny był zasięg. Jeszcze parę lat temu aparaty telefoniczne posiadały pamięć liczoną w megabajtach, prosty aparat fotograficzny i kilka drobnych funkcji. Można przypomnieć sobie choćby możliwości kultowego telefonu biznesowego Nokia 6310i (wyszedł na rynek w 2002 r., natomiast produkcję tego modelu zakończono w 2004 r), który uważany jest za najbardziej udany model w historii telefonii komórkowej, o czym może świadczyć jego niemająca popularność, mimo braku zaawansowanych cech.

Obecnie na rynku dostępne są smartfony oraz iPfony, które posiadają antenę GPS, umożliwiającą posługiwanie się nawigacją satelitarną i automapą, aparaty telefoniczne 8 MPx, obsługę wideo, wysyłanie e-maili oraz wiadomości MMS, transmisję GPRS umożliwiającą korzystanie z Internetu i pobranie stamtąd bardzo wielu aplikacji, odtwarzacz plików mp3, ekran dotykowy, pamięć liczoną w gigabajtach, przeglądarki plików pdf oraz iSilo™, niektóre mają jeszcze Wi-Fi, Bluetooth, USB. Urządzenia te stają się coraz prostsze w obsłudze – coraz bardziej intuicyjne oraz przyjazne użytkownikowi.

Oczywiście nie jest to standardowe wyposażenie najprostszych modeli telefonów komórkowych, a tylko takich adresowanych dla osób bardziej wymagających. Nie zmienia to faktu, że takie funkcjonalności obecnie są już dostępne, od kilku lat możliwe do wykorzystania oraz dalej rozwijane pod kątem nowych wyzwań i oczekiwań.

Dzisiejsze telefony komórkowe mają pamięć liczoną w gigabajtach, podczas gdy parę lat temu była ona rzędu kilkunastu megabajtów. Zwiększają się również możliwości przetwarzania danych w wyniku stosowania tam coraz bardziej nowoczesnych procesorów.

Rozwój takich urządzeń nie odbywa się stopniowo małymi krokami, tylko skokowo, dokonywane są duże zmiany, związane z integracją poszczególnych funkcji oraz wykorzystaniem najnowszych dostępnych technologii.

3. Obecne i przyszłe możliwości inteligentnych liczników

Obecnie dostępne funkcjonalności inteligentnych liczników (ang. *smart metres*) są następujące:

- zdalna konfiguracja i diagnostyka licznika,
- kontrola poboru mocy dokonywana przez licznik,
- wyłączenie i załączenie zasilania u odbiorców,
- rejestracja danych pomiarowych (w różnych strefach czasowych, w dwóch kierunkach) i zdarzeń,
- ostatnie westchnienie, czyli możliwość wysłania ostatniego komunikatu informującego operatora sieci o zaistniałej awarii sieci,
- wykrywanie pewnych zdarzeń i automatyczne wysyłanie alarmów,
- możliwości współpracy z siecią domową HAN (ang. *Home Area Network*) lub tylko sterowanie urządzeniami,
- zdalna podmiana oprogramowania wewnętrznego licznika (ang. *upgrade firmware*),
- możliwość zdalnej zmiany sposobu rozliczania: kredytowo/przedpłatowo,
- itd.

W celu opisywania nowoczesnych liczników coraz częściej stosuje się słowa-klucze: inteligentny, interaktywny, relacje, wielofunkcyjny, multimedialny. Wydaje się jednak, że ta multimedialność, interaktywność itp. cechy dopiero rozwiną się.

4. Obecne kryzysowe realia biznesowe

Należy jednak pamiętać, że z powodów silnej konkurencji, zwłaszcza firm pochodzących z Chin, europejscy producenci liczników mają bardzo małą marżę ze sprzedaży swoich urządzeń. Dlatego nawet drobne zmiany powodujące wzrost kosztów mogą być przez nich drażliwie odebrane, ponieważ przekładają się na kurczenie się i tak już niewielkiej marży, czyli również i zysku przedsiębiorstwa. Obecnie wielu zamawiających dosłownie liczy każdą złotówkę, dlatego szanse na pozyskanie większych pieniędzy na rozwój nie są wielkie. Z drugiej strony niektórzy dostawcy sprzętu i usług wykonują zlecenia dosłownie po kosztach albo nawet poniżej kosztów danego przedsięwzięcia licząc na pokrycie strat w przyszłości. Takie przedsiębiorstwa mają stałe koszty np. pracy i jeżeli nie uzyskają zlecenia, to ich pracownicy będą dla nich tylko kosztem. Pozyskanie zlecenia oznacza wiarygodność dla inwestorów, uzyskanie referencji, wejście na nowy rynek, odbieranie zleceń konkurencji, możliwość serwisowania własnych produktów z możliwą do zaakceptowania marżą itp.

Często producentami liczników są spółki akcyjne. Ich akcjonariusze oczekują dywidendy, czyli część zysku przedsiębiorstwa, którą można myłoby przeznaczyć na działalność badawczo-rozwojową, trafia do rozproszonych, tymczasowych właścicieli, którym zależy na maksymalizacji zysku uzyskanego w krótkim okresie czasu, a nie na rozwoju firmy.

Producenci liczników, aby rozwijać swoje produkty muszą posiadać niezbędne środki finansowe przeznaczone na ten cel. Przy małej marży ze sprzedaży, dużej konkurencji oraz przy walce o utrzymanie dotychczasowych rynków zbytu jest to bardzo kłopotliwe. Niewątpliwie masowe zakupy inteligentnych liczników, które są droższe od tradycyjnych, zwiększą przychody producentów takich urządzeń, a ci będą mogli część z tych pieniędzy zainwestować w rozwój technologiczny swoich produktów. Wydaje się, że rozwój tych urządzeń nabierze bardzo dużego tempa, tak jak można było to zaobserwować w przypadku telefonów komórkowych.

Wydaje się, że prym będą wiodły tutaj globalne firmy oferujące swoje liczniki energii na wielu rynkach świata. Nawet przy niewielkiej marży sprzedaż dużej ilości urządzeń wygeneruje przychody wystarczające do prowadzenia badań rozwojowych. Producenci liczników będą liczyć się z tym, że jeżeli dotychczas zainstalowane liczniki energii miałyby być wymienione na nowe przed czasem upływu ważności ich legalizacji, nowe urządzenia muszą oferować bardzo wyszukane zaawansowane funkcjonalności. Oczywiście będą one droższe od zwykłych inteligentnych liczników.

Wśród perspektywicznych funkcjonalności inteligentnych liczników należy wymienić:

- współpraca z wyświetlaczem domowym IHD (ang. *in-home display*) oraz z licznikami innych mediów,
- stosowanie cen zmiennych w czasie rzeczywistym RTP (ang. *Real-Time Pricing*),
- stosowanie rozwiązania ceny-dla-urządzeń (ang. *prices-to-devices*) polegającego na umożliwieniu szerokiego przenikania dynamicznej ceny do różnych zastosowań i aplikacji znajdujących się „za licznikiem”, umożliwiając inteligentnym urządzeniom regulację wielkości poboru mocy w zależności od poziomu zmiennych cen oraz innych sygnałów lub zachęt [6]. To właśnie odbiorca będzie mógł określić, poniżej jakiej ceny energii mają być uruchamiane określone urządzenia.
- stosowanie metod nieinwazyjnego rozpoznawania obciążeń (podłączonych odbiorników) [1, 4] i metody skutecznego wykorzystywania takiej wiedzy, w tym wykrywanie nielegalnej

działalności prowadzonej przez klientów np. hodowli konopi indyjskich, które potrzebują dużej ilości światła,

- możliwość przestawienia, aby licznik mierzył energię netto (ang. *Net Metering*), czyli od energii pobranej przez odbiorcę odejmował ilość energii wygenerowanej przez niego i oddanej do sieci,
 - dokonywanie automatycznej redukcji obciążenia u klienta na podstawie pomiarów częstotliwości sieci [2],
 - stosowanie sterowania indywidualnymi obciążeniami DD (ang. *Demand Dispatch*), czyli zdolność do łącznego i precyzyjnego sterowania indywidualnymi obciążeniami na komendę. Mechanizm polega na cyklicznym załączaniu i wyłączaniu niektórych odbiorów, aby zużywały one nadmiar energii pochodzący z niespokojnych źródeł energii, takich jak np. turbiny wiatrowe [3].
- Obszary badań w tym zakresie to:
- metody zwiększenia skuteczności mechanizmów DSR (ang. *Demand Side Response*) – czyli w jaki sposób można bardziej uelastyczyć popyt na energię, czyli również zmienić nawyki odbiorców, co do zużywania energii.
 - w jaki sposób najskuteczniej można dostarczać do klienta odpowiednio informacje tak, aby podejmował on określone działania.

5. Zdalnie podstawianie oprogramowania wewnętrznego

Inteligentne systemy pomiarowe instaluje się na długi czas np. 15 lat. Przez ten czas jednak wiedza rozwija się, niektóre technologie stają się na tyle dojrzałe, że można je z powodzeniem zastosować w przemyśle, inne natomiast zostają zastępowane nowszymi, skuteczniejszymi. Wdrożenie systemu ograniczyłoby na 15 lat bardzo mocno funkcjonalność zaawansowanej infrastruktury pomiarowej AMI (ang. *Advanced Metering Infrastructure*) jedynie do tych, obecnie stosowanych. Dlatego pojawia się kwestia umożliwienia funkcjonalnej rozbudowy systemu po jego wdrożeniu. Aby było to możliwe niektórzy podkreślają, że system powinien oferować możliwość najlepiej zdalnej podmiany oprogramowania wewnętrznego urządzeń stosowanych w inteligentnych systemach pomiarowych. W przypadku liczników energii elektrycznej jest to możliwość zdalnego podstawienia nowszych wersji oprogramowania (ang. *upgrade firmware*). W przypadku planowania dokonywania w przyszłości takich operacji, na etapie projektowania rozwiązania AMI należy zagwarantować odpowiednio szybkie łącze transmisyjne, umożliwiające przesłanie dużego pakietu, zawierającego nową wersję firmware.

Pakiet aktualizacji oprogramowania ma znaczną wielkość, dlatego warto ograniczyć krotność wysyłania tego pakietu do liczników. Nową wersję firmware można zatem wysłać na zasadzie jeden do wielu. Każde z urządzeń powinno wysłać potwierdzenie zwrotne informujące o otrzymaniu pakietu z nowszą wersją programu i prawidłowym odczytaniu go. Dzięki temu wiadomo, do których liczników należy ponownie wysłać pakiet aktualizacji. Wtedy można to czynić na zasadzie jeden do jednego. Każde z urządzeń pomiarowych powinno zgłosić prawidłowo wykonaną operację aktualizacji oprogramowania.

Dzięki zastosowaniu funkcjonalności podstawienia nowych wersji oprogramowania licznika umożliwia się dalszy rozwój funkcjonalny urządzeń pomiarowych oraz całego systemu. Oprogramowanie licznika jest ciągle rozwijane. Najczęściej czynnikami przyczyniającymi się do tego są nowe wymagania od dotychczasowych użytkowników oraz zauważone lub zgłoszone błędy i usterki. Nowsze wersje oprogramowania również nie są pozbawione błędów pomimo przeprowadzenia wcześniejszych testów. Dlatego też czasami po aktualizacji oprogramowania zachodzi konieczność przywrócenia jego poprzedniej wersji, ponieważ nowa posiada błędy krytyczne. Błędy takie nie muszą ujawniać się na wszystkich urządzeniach. Mogą występować jedynie na kilku z nich oraz przy bardzo specyficznej konfiguracji.

Stosowanie możliwości zdalnego podstawiania nowszej wersji oprogramowania wiąże się z koniecznością zwiększenia pamięci licznika, który od tej pory musi przechowywać obecną wersję oprogramowania, oraz właśnie wgrywaną nowszą, która po restarcie urządzenia zostanie automatycznie podstawiona. Czasami wymaga się, aby po podstawieniu nowej wersji oprogramowania licznik przechowywał również przednią, prawidłową wersję na wypadek, gdyby w nowej wersji stwierdzono usterkę. Wtedy, w stosunkowo prosty sposób, można byłoby przywrócić starszą wersję oprogramowania wewnętrznego licznika (ang. *downgrade*), pozbawioną takiej usterki. Zatem licznik w skrajnym przypadku musiałby przechowywać 3 wersje oprogramowania: bieżącą, poprzednią oraz wgrywaną najnowszą.

Aktualizacja oprogramowania wewnętrznego licznika to bardzo newralgiczna sytuacja. W przypadku założenia konieczności przeprowadzania takiej aktualizacji konieczne jest podtrzymanie baterijne zasilania licznika, ponieważ jeżeli podczas podstawiania nowego oprogramowania wystąpiłby zanik napięcia, to oprogramowanie uległoby poważnemu uszkodzeniu. Istnieje konieczność identyfikacji takich sytuacji.

6. Wątpliwości, co do przeceniania możliwości zdalnej aktualizacji oprogramowania

Firma IBM wdrażane przez siebie inteligentne systemy pomiarowe dzieli na generacje, w zależności od dostępności w nich najbardziej istotnych funkcjonalności [7]:

1. systemy pierwszej generacji, wdrażane od 2001 r. o transmisji jednokierunkowej,
2. systemy drugiej generacji, wdrażane od 2002 r. mają dwukierunkową transmisję oraz dodatkowo umożliwiają zdalne odłączenie instalacji odbiorczej klienta,
3. systemy trzeciej generacji, wdrażane w latach 2004–2007 r. zawierają dodatkowo informację o parametrach jakościowych energii, umożliwiają rozliczanie na podstawie godzinowych odczytów, a także zdalne podstawienie nowszej wersji oprogramowania urządzeń (ang. *upgrade firmware*),
4. systemy najnowszej generacji, wdrażane od 2010 r. dodatkowo współpracują z siecią domową HAN.

Spojrzenie na dostępne funkcjonalności AMI pokazuje, jak wielka była dynamika rozwoju funkcjonalnego inteligentnych liczników na przestrzeni minionych ok. 10 lat. Oczywiście można spróbować odpowiedzieć sobie na pytanie, czy zdalna aktualizacja oprogramowania w liczniku mogłaby spowodować, że liczniki pierwszej generacji stałyby się urządzeniami trzeciej generacji. Taka zmiana byłaby niemożliwa, mimo tego, że różnica czasu pomiędzy produkcją jednych a drugich wynosi jedynie około 3-4 lata. Zatem można powiedzieć, że zdalna aktualizacja oprogramowania jest jak najbardziej pożądaną i cenną funkcjonalnością, ale problem możliwości dalszego rozwoju urządzeń i rozbudowy funkcjonalnej całego inteligentnego systemu pomiarowego tkwi w innym miejscu. Jeżeli uaktualnienie licznika do poziomu funkcjonalnego licznika cztery lata starszego jest niemożliwe, to również tak będzie w przypadku prób poważniejszej aktualizacji.

Przykładem propozycji rozbudowy dostępnych inteligentnych liczników są wymagania brytyjskiego regulatora energetyki w projekcie opracowania nt. inteligentnych urządzeń pomiarowych. Regulator po konsultacjach społecznych określił tam, że inteligentne liczniki powinny przechowywać dane z okresów półgodzinnych przez okres 13 miesięcy tak, aby była możliwość porównywania bieżących danych z danymi sprzed roku. Producenci urządzeń pomiarowych zasugerowali, że zwiększenie ilości i czasu przechowywania danych w inteligentnych urządzeniach pomiarowych zwiększa techniczną złożoność takiego sprzętu i komunikacji. W konsekwencji prowadzi do wyższych kosztów. Ekspert z przemysłu wyliczyli, że trzynastomiesięczny okres przechowywania danych dla energii elektrycznej i gazu wymaga mniej niż 300 kilobajtów pamięci. Tę pamięć można byłoby roz-

budować do 1 megabajta, aby zapewnić dodatkowe możliwości przetwarzania danych. Koszty takiej rozbudowy jednego licznika zostały oszacowane na około £ 1. Koszty takie są marginalne, ponadto należy uwzględnić, że ceny pamięci dla popularnych urządzeń elektronicznych się zmniejszają. Warto również uwzględnić, że w wyniku zmian technologicznych większa pamięć umożliwi dalszą rozbudowę oprogramowania licznika pod kątem nowych usług i zwiększonych możliwości funkcjonalnych [12].

Jeżeli człowiek przypatrzy się rozwojowi telefonów komórkowych to argumentacja, że podstawienie nowszej wersji oprogramowania do starych telefonów uczyni je choć trochę zbliżonymi funkcjonalnie do nowych urządzeń brzmi jak kpina. Nowsza wersja firmware nie spowoduje, że ekran stanie się dotykowy, pamięć zwiększy się tysiąc razy lub pojawi się antena GPS albo Wi-Fi. Dlatego argumentacja, że w ten sposób będzie następował rozwój urządzeń nie wydaje się być poważna. Można sobie nawet zadać pytania, po co w nadmienianej wcześniej Nokii 6310i stosować takie rozwiązania jak antena GPS, Wi-Fi, cyfrowa busola lub 16 GB RAM.

Istnieje wielkie niebezpieczeństwo, że cyberprzestępcy złamią lub obejdą zabezpieczenia stosowane do zabezpieczania urządzeń i zaczną podstawiać w inteligentnych licznikach własną, nieautoryzowaną wersję oprogramowania wewnętrznego, co może wpłynąć na zaniżanie wskazań, zakłócanie pracy inteligentnego licznika, złośliwe działanie utrudniające życie odbiorcy np. odłączenie go od zasilania lub sterowanie jego urządzeniami, zmianę czasu, stref czasowych lub taryf, co będzie komplikowało rozliczenia, utrudnianie transmisji danych pomiarowo-rozliczeniowych.

W przypadku aktualizowania oprogramowania na komputerach zauważono, że zwykle poprawki nie zostają prawidłowo zainstalowane na co najmniej kilku systemach docelowych lub na kilku stacjach roboczych. Najbardziej prawdopodobny scenariusz jest taki, że system nadal będzie działał bez poprawki lub uaktualnienia. Niemniej jednak może powstać taka sytuacja, że po zainstalowaniu poprawki lub aktualizacji, system przestanie działać prawidłowo [13]. Nie można wykluczyć podobnego scenariusza w przypadku aktualizacji oprogramowania wewnętrznego urządzeń [2].

Na dużym polskim portalu aukcyjnym można kupić smartfony, które uległy uszkodzeniu w wyniku nieprawidłowo przeprowadzonego procesu aktualizacji oprogramowania wewnętrznego. W opisie przedmiotu na aukcji znajduje się sformułowanie podobne to takiego: „po aktualizacji oprogramowania telefon się nie włącza”. Warto podkreślić, że sam ten proces aktualizacji oprogramowania przebiegał pod okiem kompetentnego użytkownika, a pomimo tego zakończył się niepowodzeniem. W przypadku inteligentnych liczników zakłada się, że aktualizacja będzie odbywać się w sposób automatyczny. A przecież nie można wykluczyć różnego rodzaju awarii np. wyłączeń podczas przeprowadzania aktualizacji oprogramowania wewnętrznego.

Podobnie sprawa wyglądałaby gdyby ktoś chciał zaktualizować komputer z procesorem 486 i Windowsem 95 do wersji Windows 7.

Producenci liczników niewątpliwie będą naprawiać zauważone błędy, usterki i luki w zabezpieczeniach, ponieważ ponoszą za to odpowiedzialność. Ale raczej jest wątpliwe, aby za darmo oferowali dodatkowe funkcjonalności. Po co coś dawać za darmo, jeżeli można byłoby to sprzedać i ktoś mógłby za to zapłacić. Podobnie brak wdrażania w starych licznikach nowych funkcjonalności powoduje, że producenci urządzeń będą spodziewali się, że szybciej sprzedadzą kolejne, nowsze liczniki z nowymi funkcjonalnościami.

W tym miejscu powraca analogia do telefonii komórkowej – pierwsze telefony służyły wyłącznie do realizowania funkcji podstawowych, czyli kontaktu głosowego. W miarę rozwoju technologii funkcje i istota wykorzystania telefonów komórkowych rozrosły się do wielu dodatkowych i nowych usług, o których twórcy tej technologii nawet nie myśleli. Można podejrzewać, że tak samo będzie ze inteligentnymi licznikami [14].

Nowe funkcjonalności w telefonach komórkowych np. GPS, aparat telefoniczny, Wi-Fi, nie ułatwiają dzwonienia. Podobnie

nowe funkcjonalności inteligentnych liczników nie będą służyły do dokładniejszego rozliczania zużycia energii przez odbiorcę, tylko lepszej współpracy (integracji) klientów z pracą sieci elektroenergetycznej.

7. Rozwój funkcjonalny urządzeń, a technologie komunikacyjne

W ostatnim czasie zwiększa się wykorzystanie TCP/IP, jako wspólnej technologii komunikacyjnej dla zaawansowanej infrastruktury pomiarowej oraz jako wspólnej platformy komunikacyjnej dla aplikacji do zarządzania inteligentnymi licznikami. W obecnie zainstalowanym systemie we Włoszech, odczytującym około 32 mln liczników, stosuje się transmisję PLC (ang. *Power Line Communication*). W krajach skandynawskich stosuje się transmisję z wykorzystaniem protokołu GPRS. Ostatnie wdrożenia na wielką skalę w krajach rozwiniętych faworyzują dostawców komunikacji na częstotliwościach radiowych [5].

Technologie bezprzewodowe zawsze są atrakcyjniejsze od przewodowych, ponieważ nie wymagają instalowania nowego okablowania. Dotyczy to zwłaszcza istniejącej infrastruktury sieci bezprzewodowych np. Wi-Fi lub WiMAX (ang. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Z drugiej strony istniejące solidne budynki z betonowymi ścianami, w których liczniki nierzadko znajdują się w piwnicy, typowo dla krajów europejskich, są poważną przeszkodą dla radiowych rozwiązań pomiarowych [8].

W przypadku inteligentnych liczników, do odczytu większej ilości danych z tych urządzeń nie nadają się starsze technologie komunikacyjne, ponieważ charakteryzują się zbyt małą przepustowością, zbyt dużymi opóźnieniami itp. Wdrażane technologie charakteryzują się określonymi ograniczeniami np. technicznymi, których tanio nie da się ominąć. Dlatego czasem zaskakuje promowanie przesyłania danych po sieciach elektroenergetycznych PLC, która to technologia jest bardzo zawodna i charakteryzuje się niskimi przepustowościami, utrudniającymi lub uniemożliwiającymi obsługę liczników przyszłości, które będą rejestrowały znacznie większą ilość danych oraz będą miały rozbudowaną funkcjonalność. Już samo podstawienie oprogramowania wewnętrznego będzie nie lada wyzwaniem.

Dlatego wydaje się, że perspektywiczną technologią komunikacyjną do odczytu inteligentnych liczników w dużych aglomeracjach miejskich będzie Wi-Fi, ewentualnie GPRS, a nie PLC PRIME (ang. *PowerLine Intelligent Metering Evolution*), chociaż w zasadzie byłoby wskazane, aby komunikacja z urządzeniami pomiarowymi odbywała się z wykorzystaniem redundantnych (alternatywnych) torów transmisji, co zwiększałoby niezawodność wymiany danych, alarmów i sygnałów sterujących.

Niewątpliwą zaletą PLC w stosunku np. do Wi-Fi jest fakt niezależnienia się od usług świadczonych przez zewnętrzną firmę – operatora internetowego i korzystanie z własnej infrastruktury komunikacyjnej. Dzięki temu można nie spodziewać się niespodzianek w stylu dwukrotnego zwiększenia opłat za korzystanie z Wi-Fi. Takie podejście byłoby niebezpieczne dla operatora sieci dystrybucyjnej. Oczywiście i operator sieci mógłby wymuszać zaniżanie opłat grożąc firmie internetowej rozwiązaniem umowy i korzystaniem z usług świadczących przez innego dostawcę usługi Wi-Fi.

Dlatego wydaje się jednak, że docelowo powinny być stosowane dwa tory transmisji: własny może być wolniejszy i bardziej zawodny, ale przewidywalny, co do niezawodności i kosztów oraz drugi, alternatywny np. Wi-Fi, szybszy, ale wykorzystywany w taki sposób, aby nie uzależnić się od takiej technologii komunikacyjnej.

Z drugiej jednak strony patrząc, to miliony klientów indywidualnych korzysta z Internetu dostarczanego przez wielu dostawców i trudno mówić o ich uzależnieniu.

8. Ograniczenia systemowe AMI

Zaawansowana infrastruktura systemowa, tak jak każdy system informatyczny ma swoje ograniczenia. Zawsze należy mieć na uwadze, że wielu ograniczeń systemów informatycznych nie da się w żaden sposób obejść. Jedynym rozwiązaniem jest napisanie programu lub wdrożenie całego systemu od nowa. Takie ograniczenia warunkują dostępną funkcjonalność oraz to, jakie procesy biznesowe mogą zostać zrealizowane. Niektóre ograniczenia wprowadzone są celowo przez producenta oprogramowania. Przyczynami celowo wprowadzonych ograniczeń mogą być:

- uproszczenie sposobu funkcjonowania programu,
- zapewnienie wymaganej szybkości lub wydajności systemu,
- spełnienie wymagań oferenta,
- oczekiwanie dodatkowej zapłaty za zdjęcie wprowadzonych ograniczeń,
- itp.

Projektując wymagania do systemu AMI należy rozważyć kwestię spełnienia przez niego określonych wymagań bezpieczeństwa. Dostępny jest cały szereg rozwiązań. Trudno jest określić, które z nich są najbardziej odpowiednie w danym przypadku. Ponadto każde z nich posiada odpowiednie właściwości i ograniczenia. Dlatego podczas projektowania systemu AMI należy rozważyć i dokonać odpowiednich kompromisów, wynikających z dostępnych rozwiązań, pomiędzy wymaganą funkcjonalnością podstawową i dodatkową, wymaganiami prawnymi wraz z oczekiwaniami regulatora energetyki, a ograniczeniami systemowymi. Próba pokonania niektórych ograniczeń może być bardzo kosztowna.

Przykładowe ograniczenia AMI są następujące [10]:

- obliczeniowe (np. dostępna moc obliczeniowa urządzeń zdalnych),
- sieci (np. przepustowość, wydajność lub opóźnienia),
- pamięci (wielkość dostępnej pamięci np. dla wymaganych funkcjonalności oprogramowania wewnętrznego lub rejestrów kontroli – tzw. logów),
- mocy (np. dostępnej mocy zasilania w urządzeniu zdalnym),
- personelu (np. wpływ na czas, który średnio poświęcany jest na konserwację),
- finansowe (np. koszt większości urządzeń),
- czasowe (np. ograniczenie zmiany niektórych wskaźników),
- technologia,
- dostępność,
- dojrzałość (np. niektórych technologii),
- integracja lub interoperacyjność (np. ze starszymi systemami),
- cykl życia,
- współzależność infrastruktury,
- aplikacje (np. zautomatyzowane systemy użytkownika i procedury ręcznego przetwarzania informacji),
- informacja (np. dane we wszystkich formach: wejściowe, wyjściowe i przetwarzane przez systemy informatyczne, w jakiegokolwiek formie wykorzystywane w biznesie),
- infrastruktura (np. technologia i urządzenia tj. sprzęt, systemy operacyjne, systemy zarządzania bazami danych, sieci, multimedia i środowiska),
- ludzie (np. personel niezbędny do planowania, organizowania, nabywania, wdrażania, dostarczania wsparcia, monitorowania oraz oceny systemów informatycznych i usług. Pracownicy mogą być wewnętrznymi, zlecceni (outsourcing) lub zakontraktowani w razie potrzeby),
- czas,
- technika,
- działanie,
- kultura,
- etyka,
- środowisko,
- prawo,
- łatwość użytkowania.

9. Problematyka interoperacyjności

Interoperacyjność (ang. *interoperability*) jest to zdolność dwóch lub więcej systemów lub komponentów do wymiany informacji i wykorzystywania informacji, które zostały wymienione. Jest to zdolność urządzeń i systemów do dostarczania (świadczenia) i odbierania usług i informacji między sobą, a także do korzystania z tych usług i wymiany informacji, aby w przewidywalny sposób skutecznie działać razem, bez znaczącej interwencji użytkownika. Interoperacyjność systemów informatycznych to możliwość łączenia zbiorów danych przestrzennych oraz interakcji usług danych przestrzennych bez powtarzalnej interwencji manualnej w taki sposób, aby wynik był spójny, a wartość dodana zbiorów i usług danych przestrzennych – zwiększona. Najszerza definicja mówi, że interoperacyjność to zamiennność i wymiennność.

Interoperacyjność to coś innego niż kompatybilność. Przykładowo komputerowe systemy operacyjne Windows i Linux nie są kompatybilne, natomiast są interoperacyjne, czyli zdolne do wspólnej pracy i wymiany informacji między sobą.

Ostatecznym celem współdziałania (interoperacyjności) jest umożliwienie dwóm niezależnie opracowanym urządzeniom integrację swojego działania za pośrednictwem sieci łączności.

Stosowanie otwartych standardów sprzyja interoperacyjności urządzeń różnych producentów. Może się jednak okazać, że jeżeli nowy produkt wypuszczony na rynek jest jawnie sprzeczny z obowiązującymi standardami i normami, to jednak w przypadku osiągnięcia przez niego dominującej pozycji, producent może po prostu założyć, że to właśnie jego założenia staną się standardem i w ramach interoperacyjności to inni muszą się dostosować do niego.

Chociaż koncepcja na pierwszy rzut oka wydaje się prosta, to jednak złożoność systemów lub elementów wymaga znacznej ilości umów odnośnie sposobów wzajemnego oddziaływania na siebie. Nawet stosunkowo proste poziomy interoperacyjności wymagają nie tylko przestrzegania norm i porozumień w sprawie korzystania z tych standardów, ale również konieczny jest udział techników podczas instalacji i konfigurowania sprzętu. Wyższe poziomy interoperacyjności są celem strategicznym dla zaawansowanych systemów automatyki i obejmują funkcje umożliwiające poszczególnym urządzeniom współuczestniczenie w zarządzaniu systemem. Pojęcia takie jak *podłącz i pracuj* (ang. *Plug and Work*) lub *podłącz i używaj* (ang. *Plug and Play*) wymagają bardziej wyrafinowanych poziomów interoperacyjności. Funkcje takie pozwalają na podłączenie nowego urządzenia, aplikacji lub systemu do istniejącego systemu, a istniejący system automatycznie włączy nowy sprzęt. Te poziomy interoperacyjności są bardzo pożądane, ponieważ upraszczają konieczność interwencji człowieka, która byłaby potrzebna do zarządzania systemami. Jednakże, aby osiągnąć takie systemy, które dla ludzi są łatwiejsze do wykorzystania, wymaga się wyższego stopnia wewnętrznej złożoności takich systemów [9].

Cel, którym jest osiągnięcie systemów interoperacyjnych może być bardzo trudny do osiągnięcia w zróżnicowanym środowisku z wieloma różnymi wymaganiami, wieloma różnymi dostawcami i szerokim wachlarzem standardów.

Interoperacyjność jest szczególnie kłopotliwa do osiągnięcia tam, gdzie istniejące systemy uniemożliwiają zastosowanie bardziej nowoczesnych rozwiązań. Obecnie niełatwo odpowiedzieć na pytanie, w jaki sposób zintegrować te starsze, mniej elastyczne systemy, ale następujące technologie i najlepsze praktyki mogą pomóc w kierunku osiągnięcia takiej interoperacyjności [9]:

- stosowanie modelowania obiektów i usług,
- stosowanie technologii niezależnych technik,
- wykorzystanie metadanych,
- stosowanie standardów,
- stosowanie konwerterów bram i protokołów.

Kluczowe punkty interoperacyjności: mówi się, że chociaż możliwe jest ujednoczenie wszystkiego, to możliwe jest również, aby skończyć z tak wieloma standardami, które powodują, że ma

się wrażenie, że ostatecznie nie ma żadnych norm. Ostatecznie musi istnieć równowaga między elementami składowymi systemu łączności, które są ściśle standaryzowane i tymi, które są dość elastyczne, aby mogły być zainicjowane przez uczestników rynku – sprzedawców energii, klientów itp. Ścisły gorset obowiązujących norm i standardów nie pozostawiałby przestrzeni i kierunków, w których mógłby nastąpić dalszy rozwój funkcjonalny urządzeń.

Interoperacyjność jest pożądanym kierunkiem, pod warunkiem jednoczesnego unikania nadmiernych współzależności poszczególnych elementów składowych.

Podczas niektórych wdrożeń zauważono konflikty stosowanych wówczas technologii i protokołów komunikacyjnych. Przykładowo sygnał sterujący wysłany do jednego licznika, powodował restart innego. Takie sytuacje należy wychwycić i dlatego obecnie, oprócz standaryzowania protokołów komunikacyjnych, dokonuje się odpowiedniego testowania interoperacyjności, czyli zakresu możliwej współpracy urządzeń różnych producentów.

Jeżeli założy się, że system AMI będzie wdrażany przez 7 lat oraz jego cykl życia będzie wynosił 15 lat, to pomiędzy pierwszymi zainstalowanymi inteligentnymi licznikami, a ostatnimi funkcjonującymi pod koniec życia systemu upłyną nawet 22 lata. Można wyobrazić sobie komputery, telefony komórkowe, oprogramowanie narzędziowe i biurowe, wykorzystanie sieci komputerowych sprzed 20 lat, aby uświadomić sobie, jak wielki rozróż nastąpił w tym zakresie. Można spróbować sobie odpowiedzieć, jak najnowsze smartfony lub iPhone'y współpracowałyby z najnowszym komputerem (oczywiście bez USB tylko z RS 232C) z 1996 roku z zainstalowanym Windowsem 95. Bez przesady można powiedzieć, że te rozwiązania dzieli przepaść technologiczna i wszelkie próby dążenia do wzajemnej współpracy takich urządzeń to raczej zadanie dla pasjonata, a nie poważne podejście do zaawansowanych funkcjonalnie przemysłowych rozwiązań informatycznych nadzorujących funkcjonowanie infrastruktury krytycznej. A jednak inteligentny system pomiarowy będzie pewną całością i zagadnieniem interoperacyjności urządzeń, które będzie dzielić przepaść technologiczna będzie musiała być faktem.

Już samo wdrażanie systemu będzie wiązało się z problemami technologicznymi. Operator sieci dystrybucyjnej musi opracować specyfikację wymagań funkcjonalnych liczników. Nawet jeżeli w takim opracowaniu będzie przedstawiona najnowsza wiedza na ten temat, to musi upłynąć czas do ogłoszenia i przeprowadzenia przetargu na takie urządzenia. Następnie będą one wdrażane przez 7 lat. Już nawet pod koniec wdrożenia na rynku będą dostępne dużo bardziej zaawansowane urządzenia za mniejszą cenę. Dodatkowo może być problem z dostępnością większej ilości niż zamówiona wdrażanych liczników, ponieważ producent urządzeń pomiarowych nie będzie wiązał dużych nadziei na zysk z utrzymania linii produkcyjnej przestarzałych urządzeń.

Kolejnym mankamentem jest okresowe zmienianie standardów (np. PLC). Trudno jednoznacznie to wykazać, ale można podejrzewać, że celem takich działań jest m.in. zwiększenie sprzedaży urządzeń. Producenci zwykle tłumaczą to rozwojem lub unowocześnianiem standardów. Oczywiście trudno podejrzewać, że opracowany standard raz na zawsze będzie najbardziej idealnym, niewymagającym żadnego rozwoju ani dostosowania rozwiązaniem. Producent zwykle nie utrzymuje starej linii produkcyjnej, a nowe urządzenia nie są do końca interoperacyjne i kompatybilne ze starymi. Nowe standardy prawie automatycznie przyjmowane są w branży. Zatem aby posiadać w pełni funkcjonalny system konieczna jest przedterminowa wymiana starszych urządzeń.

Można podejrzewać, że inteligentne liczniki wdrażane dziś za kilka lat będą wymagały wymiany, ponieważ będą za bardzo przestarzałe technologicznie oraz za bardzo ubogie funkcjonalnie.

Podobnie jak ze współpracą różnych urządzeń, pojawi się problem z technologią komunikacyjną. Promowana w branży technologia PLC PRIME, jeszcze nie do końca dojrzała, aby ją zastosować na przemysłową skalę, nie przytłacza osiągnięci np. dostępną szybkością 21-128 kbps, w porównaniu do niektórych łatwo dostępnych technologii bezprzewodowych np. Wi-Fi. A taka prę-

kość jest technologicznym ograniczeniem, którego nie będzie można w prosty sposób obejść. Niektórzy operatorzy sieci dystrybucyjnej skłaniają się do PLC G3, dlatego działania promujące PLC PRIME, jako główną technologię komunikacyjną do odczytu liczników w Polsce wydają się być niezrozumiałe. Oczywiście, jeżeli ktoś chce ją wdrażać, to jego sprawa, natomiast próba narzucenia własnych decyzji i ich konsekwencji, czyli jedynego słusznego rozwiązania innym operatorom wydaje się być niepokojąca. Przykładowo brytyjski regulator energetyki wprost deklaruje, że nie narzuca ani nie sugeruje żadnej technologii komunikacyjnej, jako podstawowej do komunikacji z inteligentnymi licznikami. Uważa, że wybór powinien być dokonany przez rynek, z zastrzeżeniem spełnienia wymagań odpowiednich specyfikacji [11].

Podczas transmisji danych z wykorzystaniem sieci energetycznych obserwuje się tłumienie sygnału. Tłumienie to silnie zależy od częstotliwości oraz od obciążenia (np. w godzinach szczytu). Sieci energetyczne mają reaktancję indukcyjną, której wartość zależy od częstotliwości i rośnie wraz z nią. Dodatkowo w stosunku do ziemi mają reaktancję pojemnościową, która maleje wraz ze wzrostem częstotliwości. Dlatego przyspieszanie transmisji w sieci energetycznej, to większe tłumienie sygnału.

10. Wdrażać już inteligentne liczniki, czy poczekać

Oczywiście zawsze można podjąć decyzję, aby wdrażać obecnie dostępne technologie, ale to, czy przedsiębiorstwo dystrybucyjne stanie się wtedy liderem, czy królikiem doświadczalnym, który dodatkowo za parę lat będzie męczył się z przestarzałym sprzętem i oprogramowaniem, zupełnie nieprzystosowanym do otaczającej rzeczywistości, wcale nie jest takie oczywiste.

Podobnie jest z oprogramowaniem. Starzeje się ono szybciej niż sprzęt oraz nawet szybciej niż systemy operacyjne. Dlatego nie można zakładać jednorazowego stworzenia oprogramowania biznesowego, które jedynie z drobnymi poprawkami będzie stosowane przez kilkanaście lat. Warto uświadomić sobie, co byłoby dzisiaj, gdyby w przedsiębiorstwie stosowane byłyby programy napisane kilkanaście lat temu np. na platformę Windows 3.11 lub Windows 95, zainstalowane na najnowocześniejszym, na ówczesne czasy, sprzęcie np. z procesorem 32 MHz? Czy przedsiębiorstwo pracujące na takim „zaawansowanym” systemie byłoby liderem, czy raczej wzbudzałoby politowanie?

Wymienione wcześniej dostępne funkcjonalności inteligentnych systemów pomiarowych, to przykłady koncepcji rozwoju zabrane z dostępnych publikacji. Ale można puścić wodze fantazji i próbować znaleźć inne ciekawe rozwiązania. Dlaczego bowiem inteligentny licznik lub domowy wyświetlacz IHD nie miałby przedstawiać zużycia wody, gazu, ciepła, informować o temperaturze i pogodzie, kończącym się ubezpieczeniu OC samochodu lub przeglądzie samochodu, informować o zebraniu dla rodziców w szkole, planowych wyłączeniach zasilania, o wystąpieniu sytuacji awaryjnych, o spodziewanych przerwach w świadczeniu dostaw wody, informować o utrudnieniu ruchu lub problemach z parkowaniem wynikającym z remontu drogi osiedlowej?

Trzeba wyjść poza utarte dotychczasowe schematy i trzeba sobie uświadomić, że może być inaczej, niż jest obecnie. Multimedialny, interaktywny licznik energii mógłby bardzo dobrze współpracować z przedsiębiorstwem multienergetycznym.

Już teraz wydaje się, że legislacja i wytyczne odnośnie wymagań do inteligentnych liczników nie nadążają za rozwiązaniami technologicznymi. Przykładowo zakłada się, że takie urządzenia będą wyposażone w złącze USB. Jeżeli będzie ono dostępne dla użytkowników, to część z nich może je wykorzystać do „darmowego” ładowania akumulatorów nowszych smartfonów, które umożliwiają ładowanie za pośrednictwem złącza USB.

Warto podkreślić, że obecnie dostępne technologie umożliwiają realizację takich rozwiązań. Przeszkodą mogą być obowiązujące przepisy prawa, mentalność oraz koszty początkowe.

11. Zakończenie

Wydaje się, że rewolucyjny rozwój i zaawansowana rozbudowa funkcjonalna inteligentnych liczników dopiero nastąpi w najbliższym czasie, kiedy ich producenci pozyskają odpowiednie fundusze na rozwój takich urządzeń oraz będą zdobywać doświadczenia wdrożeniowe. Niewątpliwie będzie to związane z obsługą taryf zmiennych w czasie rzeczywistym oraz bezprzewodowym sterowaniem urządzeń w gospodarstwach domowych. Liczniki energii smart będą jeszcze bardziej smart.

Będąc świadomym, że każdy system posiada ograniczenia techniczne i technologiczne, które warunkują jego dalszą rozbudowę, koncepcję dalszej rozbudowy systemu należy przewidzieć na etapie projektowania systemu. Obserwując telefonię komórkową można podejrzewać, że również w obszarze inteligentnych liczników energii będzie miała miejsce prawdziwa rewolucja, zwiększająca nie tylko funkcjonalności urządzeń pomiarowych, ale również, a może przede wszystkim, możliwości ich interakcji z użytkownikiem oraz z siecią elektroenergetyczną.

12. Literatura

- [1] Berges M.E., Goldman E, Matthews H.S., Soibelman L.: Enhancing Electricity Audits in Residential Buildings with Nonintrusive Load Monitoring. *Journal of Industrial Ecology*. 2010;14(5):844-858.
- [2] Billewicz K.: Smart metering a ochrona przed przecięciem, *Przeгляд energetyczny*, 1b/2012.
- [3] Brooks A., Lu E., Reicher D., Spirakis Ch., Wehl B.: Demand Dispatch, *Power and Energy Magazine*, IEEE, may/june 2010.
- [4] Chang H-H, Lin C-L, Lee J-K.: Load identification in nonintrusive load monitoring using steady-state and turn-on transient energy algorithms. In: *International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*; 2010:27-32.
- [5] Malko J.: Sieci inteligentne jako czynnik kształtowania sektora energii elektrycznej. *Rynek Energii*, 2(87)/2010.
- [6] Sioshansi F.: *Smart Grid, Integrating Renewable, Distributed and Efficient Energy*. Academic Press, 2012 Elsevier Inc.
- [7] IBM Global Energy & Utilities, *Global Trends in Smart Metering*, 2010 IBM Corporation.
- [8] Open METER, *Open Public Extended Network metering; Energy Theme; D 2.1/part 1 description of current state-of-the-art technologies and protocols – general overview of state-of-the-art technological alternatives task 2.1.0*
- [9] *The integrated energy and communication systems architecture*, EPRI, Palo Alto, CA and Electricity Innovation Institute, Palo Alto, CA: 2003; www.intellegrid.info
- [10] *AMI System Security Requirements, V1.01, ASAP*, U.S. Department of Energy, 17-12-2008.
- [11] OFGEM, *Smart Metering Implementation Programme: Communications Business Model*, 27 July 2010, <http://www.ofgem.gov.uk/e-serve/sm/Documentation/Documents1/Smart%20Metering%20-%20Communications%20Business%20Model.pdf>
- [12] OFGEM, *Smart Metering Implementation Programme: Response to Prospectus Consultation*, 30 March 2011, <http://www.ofgem.gov.uk/e-serve/sm/Documentation/Documents1/Design%20Requirements.pdf>
- [13] Flick T., Morehouse J., *Securing the Smart Grid, Next Generation Power Grid Security*, 2011 Elsevier Inc.
- [14] Szyjko C. T.: Smart grids – rewolucja czy ewolucja w sektorze gazowym?, *Energetyka*, 12/2011.

otrzymano / received: 31.10.2012

przyjęto do druku / accepted: 03.12.2012

artykuł recenzowany / revised paper